

戦国時代の城下町における水害対策に関する研究

城壁として建造された上城戸による治水効果

A Study on River Flood-Control in Castle Town for the Sengoku Period

The flood control effects of the Kamikido constructed with soil as a castle wall

○野々村 善民*¹, 寺前 海斗*², 萩原 春親*³
Yoshitami Nonomura*¹, Shito Teramae*² and Haruchika Hagiwara*³

*1 福井工業高等専門学校 環境都市工学科 教授 博士(工学)
Professor, National Institute of Technology, Fukui College, Dr.Eng.

*2 福井工業高等専門学校 環境都市工学科 本科生
National Institute of Technology, Fukui College, Student

*3 株式会社サンワコン 空間情報部
Spatial Information Department, SANWACON Co., Ltd

Summary: This study predicts the water flow around the Kamikido a dam-shaped construction with soil of Ichijodani River at the time of the heavy rain in Sengoku period and is intended to clarify the flood control effects of the Kamikido. Since Ichijodani area of Fukui city is surrounded by the mountains, the topography and heavy rain caused river floods many times there. According to the past analysis result using 3D model and Computational Fluid Dynamic, when flooded waters from the past Ichijodani River reached a height of 1m from the ground level, the hourly precipitation of the heavy rain at that time was found to be 42mm. As the return period of the heavy rain was calculated using probability precipitation of Fukui, the return period of 42mm precipitation was found to be 3.5 days in one year. However, the population in Ichijodani area was about 10 thousand people in the Sengoku period. This study assumed that a dam was constructed during Sengoku period by the upper part of the river side of Ichijodani area for the purpose of acting as a castle wall and preventing the flooding of Ichijodani River. Therefore, as a result of having analyzed the water flow of the past Ichijodani River, The Kamikido was found to control the muddy stream at that time of the heavy rain similar to a permeable sand control dam.

キーワード: 戦国時代; 一乗谷川; 氾濫解析; MARS 法; 上城戸; 透過型砂防堰堤

Keywords: Sengoku periods; Ichijodani River; Flooding analysis;

Multi-interface Advection and Reconstruction Solver; Kamikido; Permeable sand control dam.

1. はじめに

日本国内において最古の砂防ダムは現在の広島県福山市神辺町西中条にある深水古砂留と言われている。その築造年代の記録は元文3年(1738年)である^{文献1)}。1700年代以降から、多くの砂留が江戸時代の福山藩の堂々川において建造された。その原因は延宝元年(1673年)5月14日に発生した梅雨の長雨洪水であった^{文献2)}。このように江戸時代以前から石積みを用いた構造物によって外水氾濫を抑制する治水が行われていた。

これまでに、歴史的事象に流体数値シミュレーションCFDを適用し、過去の建設構造物による治水効果に関する研究例として、根元らが戦国時代に建造された信玄堤の治水効果を明らかにしている。しかし、信玄堤を含む地域において、外水氾濫の発生年数および外水氾濫を引き起こした際の降水量は不明であった^{文献3)}。

なお、2014年に福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館(以下、資料館)は戦国時代の一乗谷川(以下、旧一乗谷川)

の河川断面を示す遺構を発見した。この発掘調査により、旧一乗谷川における河川断面が明らかになった。また、戦国時代の旧一乗谷川において外水氾濫は1573年の朝倉氏滅亡直後に1度あったことがわかった。

そこで、筆者らはCFDを用いて、一時間降水量が42mm/hとなる場合、氾濫水によって町並立体復原地区(以下、復原地区)における水深が1mとなることを明らかにした。更に、現在の気象データを用いて、この大雨の再現期間は1年間で3.5日となることを明らかにした^{文献4)}。

このように、筆者らによる一連の研究の位置付けは、遺跡調査資料とCFDを用いて、考古学分野で解明できなかった過去の大雨時の降水量が逆算できることを明らかにしたことである。

また、戦国時代の日本国内における人口は約1千万人であり^{文献5)}。城下町の一乗谷における人口は最盛期で約1万人であった。従って、戦国時代の一乗谷における外水氾濫は頻繁に発生したことは考えにくいものと考えら

れる。なお、朝倉氏が一乗谷を支配した期間は1471年～1573年の約100年間であり、1573年までの数十年の間、旧一乗谷川においては大雨による外水氾濫は殆ど無かったものと考えられる。その一つの理由として、一乗谷の南側（川上側）に上城戸（かみきど）がある。この上城戸の南側に龍興館が建てられた。その龍興館は美濃国の戦国大名の斎藤龍興の住居であり、そこでの居住期間は1571年～1573年であった。当時の斎藤龍興は朝倉氏の客将であったため、龍興館は城下町の外側に建設され、旧一乗谷川に面していた。また、龍興館の跡地の標高は、周辺と比べて若干低くなっている。

なお、上城戸は一乗谷の南側からの敵の襲来を防ぐために建造され、その形状は透過型砂防堰堤と比べて概ね同じである。そこで、本研究は上城戸とその周辺における大雨時の水流を予測し、戦国時代の城下町における外水氾濫の抑制効果を明らかにすることを目的とする。

以上のように、本研究の新規性は、上城戸によって外水氾濫が抑制される仕組みを解明し、国内外の砂防堰堤の歴史が約130年遡ることを示すことである。



図1 福井市一乗谷の所在地

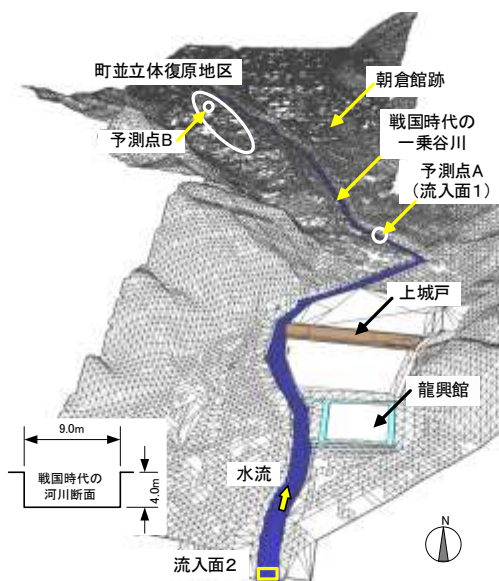


図2 一乗谷の所在地(福井県福井市)と3Dモデル

2. 研究計画

2.1. 旧一乗谷川流域の3D地形モデルについて

図1と写真1に示すように、一乗谷の所在地は福井県福井市である。図2に示す3Dモデルは資料館の遺跡調査資料と国土地理院基盤地図情報数値標高モデル10mメッシュを用いて再現したものである。

図中の予測点Aの位置は旧一乗谷川の河床である。予測点Aの北側（川下側）の393mに予測点Bを設定した。図中に示すように、予測点Bは旧一乗谷川を挟んで、朝倉館跡の対岸にある復原地区の中心付近にある。

図3に示すように、上城戸とその周辺の3Dモデルは写真測量を用いて作成した。写真撮影で用いたデジタルカメラはOLYMPUS Tough TG-6であり、画像解析ソフトはAgisoft Metashape Professional 1.7.3である。3Dモデルの編集作業はSketchUp Pro 2022を用いた。

2.2. 一時間降水量と旧一乗谷川の流量について

文献3)に記すように、一時間降水量X1と旧一乗谷川の流量などの関係は河川氾濫シミュレーションiRICを用いて予測した。以下、これを流出解析と言う。図4は流出解析の解析領域である。流出解析の主な解析条件は表1に示す。

図5は流出解析で入力した降雨量モデルである。図中の数値は2008年7月8日に福井地方気象台において観測された10分間降水量をその時の一時間降水量で基準化したものである。



写真1 現在の一乗谷川の様子

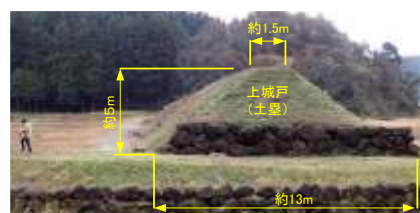
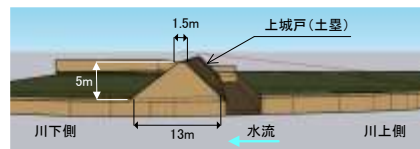


図3 現在の上城戸の様子



図4 iRICを用いた流出解析の解析領域 文献③から引用

表1 iRICによる流出解析の主な条件 文献③から引用

No	事項	内容
1	使用したソフト	iRIC (Nays2DFlood)
2	解析の対象地域	福井県福井市の一乗谷川流域
3	地形データ	国土地理院 基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ
4	流移項の差分方法	CIP 法
5	マンニングの粗度係数	0.035 [$m^{-1/3} \cdot s$]
6	解析領域側方の境界条件	自然流出
7	初期水面	水深ゼロ
8	降雨条件	2008年7月8日 福井地方気象台の観測値
9	解析領域	6000m×4550m
10	空間メッシュ数	273000 [個] = 600 × 455

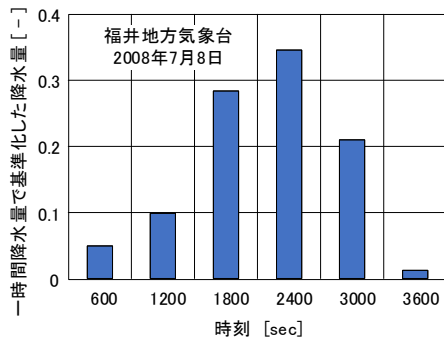


図5 流出解析で入力した降雨量モデル 文献③から引用

図6は旧一乗谷川の予測点Aにおける一時間降水量 X_t と流量の関係である。図中に示すように一時間降水量と流量は比例関係となる。

図7は旧一乗谷川の予測点Aにおける一時間降水量 X_t と流速の関係である。図中に示すように、一時間降水量と流速は比例関係となる。

2.3. STREAMの解析条件について

旧一乗谷川における水流はSTREAMのMARS法を用いて予測した。以下、これを氾濫解析と言う。

図8は氾濫解析に用いた解析領域である。図中に示すように、解析領域1には上城戸は含まない。一方、解析領域2には上城戸は含まれる。

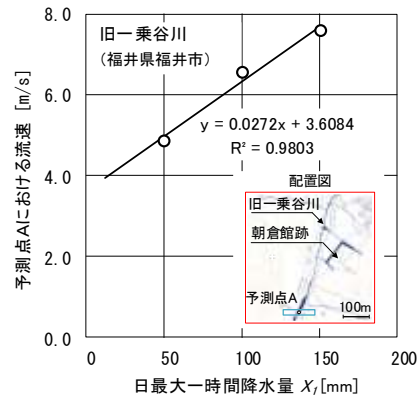


図6 旧一乗谷川の予測点Aにおける一時間降水量と流量の関係 文献③から引用

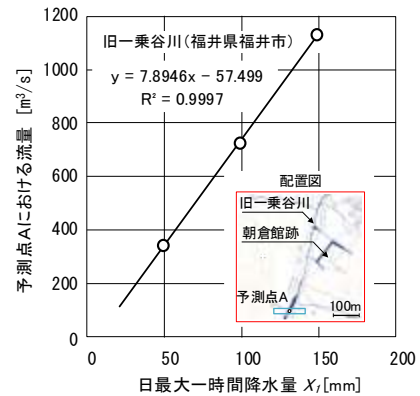


図7 旧一乗谷川の予測点Aにおける一時間降水量と流速の関係 文献③から引用



図8 氾濫解析に用いた解析領域

なお、解析領域1における流入面1の位置は予測点Aと同じである。

表2はSTREAMによる氾濫解析の主な条件である。表中に示すように、氾濫解析1の解析領域1は470m×520mであり、氾濫解析2の解析領域2は470m×940mである。

表3は氾濫解析で設定した入力条件の一部を示す。旧一乗谷川の流量と流速は、図2に示す流入面1と流入面2で設定した。解析ケースは合計4ケースである。

表中下部の再現期間は、福井県における確率降水量である。なお、確率降水量は日最大一時間降水量 X_T とその再現期間である。

図9は福井県における確率降水量である。氾濫解析2の入力条件で用いた $X_T=50\text{mm/h}$ の大雨は年間1.6日発生し、 $X_T=75\text{mm/h}$ の大雨は7年間で1回発生する。

2.4. 治水率について

本研究は、大雨時の旧一乗谷川において上城戸によって滞留する流量と解析領域全体の流量の割合を治水率FRとする。図10は上城戸の周辺における水深分布の一部を二次元で表示したものである。本稿のFRは以下の方法で算出する。

表2 STREAMによる氾濫解析2の主な条件

No.	事項	内容
1	流体領域	空気(非圧縮, 20°C) 水(非圧縮, 20°C)
2	水の計算方法 (自由表面)	非定常解析 MARS法(Multi-interface Advection and Reconstruction Solver)
3	自由表面の圧力の補正方法	SIMPLER法
4	自由表面の壁面上の接触角(全体)	15度
氾濫解析1(一乗谷の川上側に上城戸は無い状態)		
5	解析領域1	470m×520m×30m
6	空間メッシュ数	9,165,000個(235×260×150)
氾濫解析2(一乗谷の川上側に上城戸は有る状態)		
7	解析領域2	470m×940m×30m
8	空間メッシュ数	16,567,500個(235×470×150)

表3 氾濫解析2の入力条件(一部)

ケース名	A	B	C	D	
一時間降水量 X_T [mm/h]	20	50	75	100	
流入面の幅 [m]	9	9	9	9	
流入面の高さ [m]	4.5	7.5	10.5	11.5	
流入面の流速 [m/s]	4.4	5	5.6	7.1	
流入面の流量 [m³/s]	178.2	337.2	732.0	732.0	
再現期間	[年/日]	0.035	0.62	7.0	79.2
	[日/年]	28.6	1.6	0.14	0.013

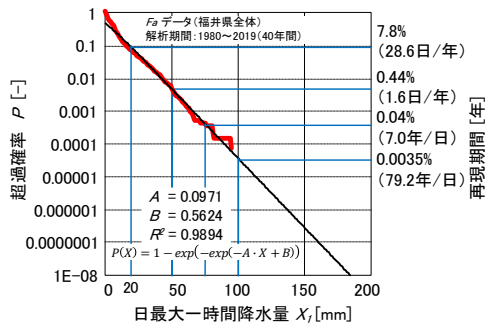


図9 福井県の確率降水量 文献3)から引用

図10(1)は一時間降水量 $X_T=20\text{mm/h}$ の水深分布である。水深が0.1m以上となる場合、該当する空間メッシュに配色した。図10(2)は $X_T=100\text{mm/h}$ の水深分布である。図中のグレーの領域は図10(1)の $X_T=20\text{mm/h}$ の水深分布である。図10(2)に示すグレーの領域以外の空間メッシュについて、水深を積算した値が $q_{100\text{mm}}$ となる。

図10(3)は $X_T=100\text{mm/h}$ の水深分布である。図中に示す0.1m以上の水深を積算した値が $Q_{100\text{mm}}$ となる。下式のように、FRは $q_{100\text{mm}}$ を $Q_{100\text{mm}}$ で除したものである。

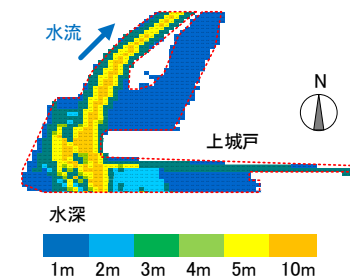
$$FR_{100\text{mm}} = \frac{q_{100\text{mm}}}{Q_{100\text{mm}}}$$

3. 解析結果

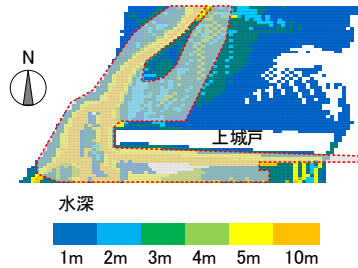
3.1. 上城戸の有無による旧一乗谷川の水深分布

図11は上流側の上城戸が無い状態における旧一乗谷川の水深分布である。氾濫解析1の一時間降水量は $X_T=50\text{mm/h}$ である。図中に示すように、復原地区の北側にある予測点Bとその周辺には、旧一乗谷川からの氾濫水が達している。

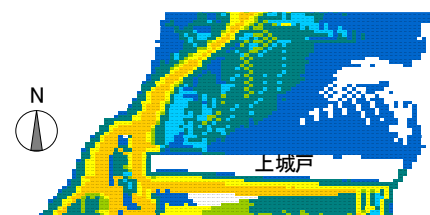
図12は上流側の上城戸が有る場合の氾濫解析2の水深分布である。図中に示すように、上城戸の上流側にある龍興館とその周辺において水が滞留し、浸水領域が広がっている。



(1) $X_T=20\text{mm/h}$



(2) $X_T=100\text{mm/h}$ ($q_{100\text{mm}}$ の算出方法)



(3) $X_T=100\text{mm/h}$ ($Q_{100\text{mm}}$ の算出方法)

図10 治水率の算出方法(一部の水深分布図)

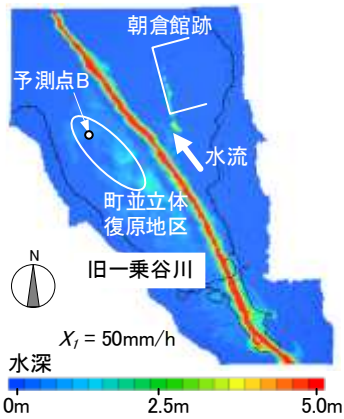


図 11 上城戸が無い状態の水深分布
(氾濫解析1, $X_T = 50\text{mm/h}$)

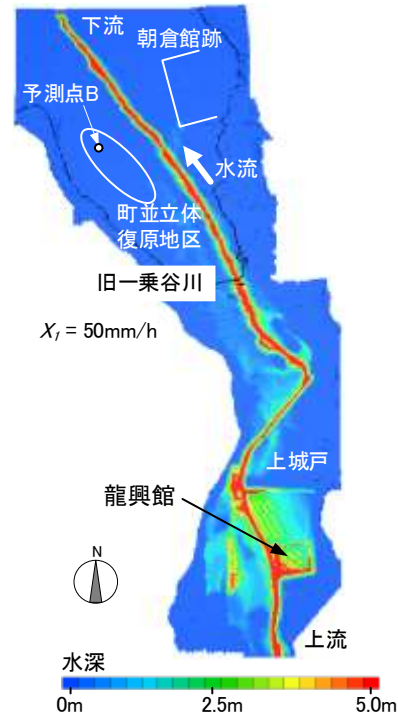


図 12 上城戸が有る状態の水深分布
(氾濫解析2, $X_T = 50\text{mm/h}$)

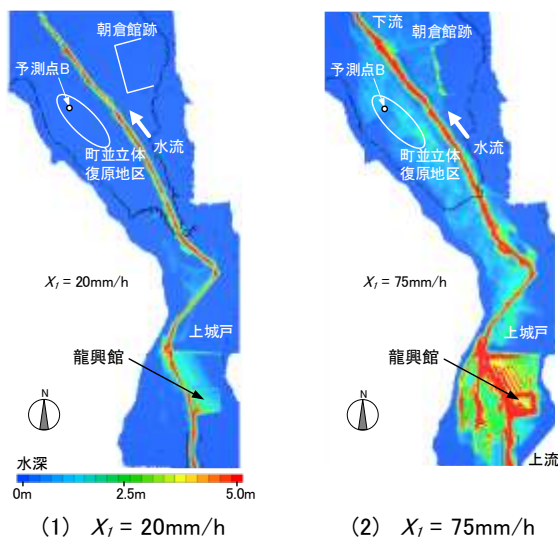


図 13 旧一乗谷川における水深分布
(上城戸は有り, 氾濫解析2)

これにより、旧一乗谷川の流量が減ったために、予測点 B の東側の旧一乗谷川において外水氾濫は無くなっている。

以上から上城戸とその周辺における地形の起伏によって、大雨時の旧一乗谷川における外水氾濫は抑制されている。つまり、大雨時の上城戸の働きは透過型砂防堰堤と同じである。また、上城戸の川上側の龍興館を含む地形は遊水池として機能していたものと考えられる。

3.2. 大雨時の上城戸の影響を受けた水深分布

図 13 は旧一乗谷川における水深分布を比較したものである。図 13 (1) に示すように、一時間降水量は $X_T=20\text{mm/h}$ である時、旧一乗谷川からの浸水領域は上城戸とその周辺のみで発生する。龍興館を囲む堀には、旧一乗谷川からの水の流入が生じている。図 13 (2) に示すように、 $X_T=75\text{mm/h}$ である場合、旧一乗谷川からの浸水領域は

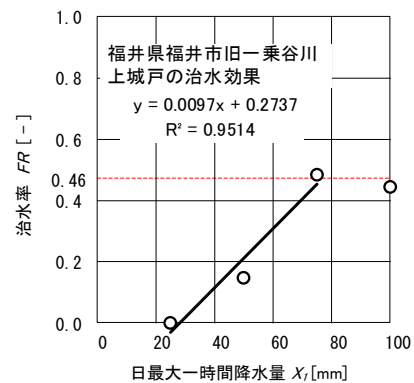


図 14 上城戸による治水率の変化

$X_T=20\text{mm/h}$ の場合と比べて広がっている。また、氾濫水は予測点 B に達している。

3.3. 旧一乗谷川における大雨時の治水率

図 14 は一時間降水量と上城戸の影響を受けた治水率 FR の関係である。 $X_T=75\text{mm/h}$ と $X_T=100\text{mm/h}$ の治水率は概ね 0.46 となっている。

つまり、75mm/h 以上の大雨が降った場合、降水により旧一乗谷川に流れる約半分の流量が氾濫する。また、 $X_T=20\text{mm/h} \sim 75\text{mm/h}$ の場合、一時間降水量と治水率は比例関係となる。

図 15 は治水率 $FR_{100\text{mm}}$ の算出に用いた $X_T=20\text{mm/h}$ の水深分布である。図中に示すように、上城戸の川上側 (南側) における龍興館辺りの水深は 1m 以下となっている。

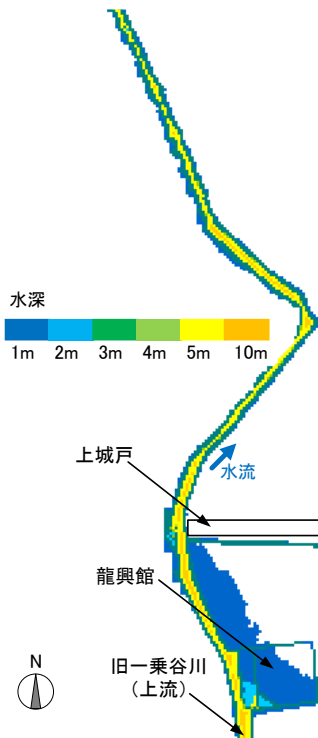


図 15 治水率の算出時の水深分布
($X_T = 20\text{mm/h}$, 氾濫解析2)

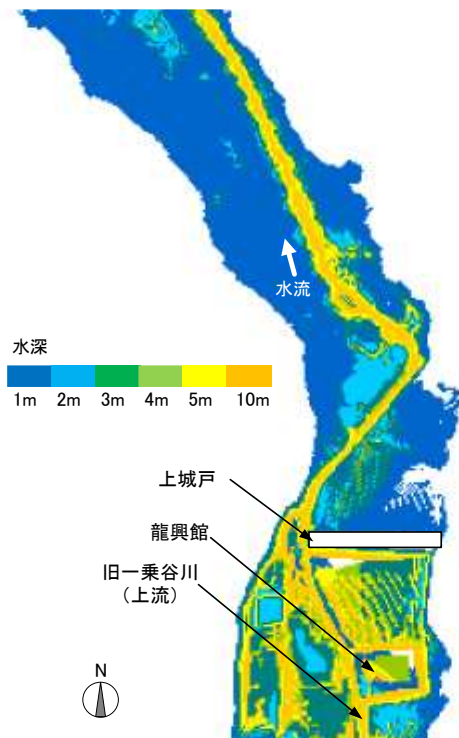


図 16 治水率の算出時の水深分布
($X_T = 100\text{mm/h}$, 氾濫解析2)

図 16 は $FR_{100\text{mm}}$ の算出に用いた $X_T=100\text{mm/h}$ の水深分布である。図中に示すように、旧一乗谷川からの浸水領域は広範囲に広がっている。上城戸の川上側の土地は水没し、その水深は 4m 以上となっている。

4. まとめ

福井県福井市の一乗谷にある上城戸は透過型砂防堰堤と同じ形状であり、機能 1573 年以前に城壁として一乗谷川に接して建造された。そこで、本研究は上城戸とその周辺における水流を予測し、その治水効果を明らかにした。以下に得られた知見を示す。

- ① 一乗谷の復原地区は戦国時代の城下町の中心であった。一時間降水量 50mm/h の大雨が降り、上城戸が無い場合、復原地区の北側にある予測点 B とその周辺には、旧一乗谷川からの氾濫水が達することがわかった。
- ② 一時間降水量 50mm/h の大雨が降り、上城戸が有る場合、予測点 B の東側における外水氾濫は発生しないことがわかった。従って、大雨時の上城戸は透過型砂防堰堤と同じ機能であり、国内外の砂防堰堤の歴史が約 130 年遡ることがわかった。また、上城戸の上流側にある龍興館とその周辺において水が滞留し、浸水領域が広がることがわかった。
- ③ 75mm/h 以上の大雨が降った場合、上城戸とその周辺の地形などによって治水率は概ね 0.46 となることがわかった。つまり、旧一乗谷川に流れる約半分の流量が氾濫することがわかった。

5. 謝辞

本研究は、科学研究費助成事業（基盤研究(C)、課題番号：20K04863、代表者：野々村善民）と 2021 年度近畿建設協会研究助成（代表者：野々村善民）を受け、福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館（文化財調査員 宮崎 認氏、藤田若菜氏）から遺跡調査資料の提供を受けた。また、全国トース技術研究組合（国土交通大臣認可、国官技第 236 号）などから多大な支援を得た。本報の作成に当たって、多大な協力を頂いた関係各位に心から謝意を表します。

[参考・引用文献]

- 1) 友松靖夫：石積み堰堤を追いかけて（下）、SABO vol. 80, pp. 37-pp. 45, 2004 年 10 月
- 2) 広島県土木建設局砂防課：福山藩砂留案内、2022 年 3 月 15 日閲覧
- 3) 根元裕樹, 中山大地, 松山 洋：洪水氾濫シミュレーションを用いた信玄堤の治水能力の再評価 —御勅使川沿いの治水施設群に着目して—, 地理学総論 84-6, pp. 553-pp. 571, 2011 年
- 4) 野々村善民, 島脇優里, 萩原春親：戦国時代の一乗谷川における外水氾濫に関する研究 考古学的資料に基づく 3D モデルの作成と河川氾濫解析, 日本建築学会・情報システム技術委員会 第 44 回情報・システム・利用・技術シンポジウム 2021 論文集, pp. 161-166, 2021 年 12 月
- 5) 総務省：我が国における総人口の長期的推移, 2022 年 5 月 12 日確認,
https://www.soumu.go.jp/main_content/000273900.pdf